

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

26.05.2004

**PRIORITY
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

REC'D 29 JUN 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung****Aktenzeichen:**

103 33 931.0

Anmeldetag:

25. Juli 2003

Anmelder/Inhaber:

ROBERT BOSCH GMBH, 70469 Stuttgart/DE

Bezeichnung:Regelstrategie für elektromechanisch leistungs-
verzweigende Hybridantriebe**IPC:**

B 60 K 41/28

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 04. März 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Bosch

5

10 **Regelstrategie für elektromechanisch leistungsverzweigende Hybridantriebe**

15 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines elektromechanisch leistungsverzweigenden Hybridantriebs eines Kraftfahrzeugs mit einem Verbrennungsmotor und zwei Elektromaschinen, die durch ein nachgeschaltetes Getriebe gekoppelt sind, sowie einen elektromechanisch leistungsverzweigenden Hybridantrieb für ein Kraftfahrzeug.

20 **Stand der Technik**

25 Während bekannte Handschalt- und Automatikgetriebe für Kraftfahrzeuge gestufte Übersetzungen aufweisen und es daher nicht erlauben, den Verbrennungsmotor in allen Fahrzuständen im Bereich hoher Wirkungsgrade zu betreiben, kann dieses Problem durch einen elektromechanisch leistungsverzweigenden Hybridantrieb beseitigt werden. Derartige Hybridantriebe sind zum Beispiel in der DE 198 42 452 A1 (TOYOTA-Hybridsystem), der DE 199 03 936 A1 (Dual-E-Getriebe) oder der DE 199 09 424 A1 (SEL 120/3-Getriebe) offenbart. Alle diese Antriebe besitzen neben dem Verbrennungsmotor
30 zwei Elektromaschinen, die ein elektrisches Stellgetriebe bilden. Der

Verbrennungsmotor und die Elektromaschinen sind durch ein nachgeschaltetes mechanisches Getriebe mit Planetenstufen gekoppelt, in dem die Antriebsleistung des Verbrennungsmotors in zwei Teilleistungen aufgeteilt wird. Während die eine Teilleistung mechanisch und damit mit hohem Wirkungsgrad zur Getriebeabtriebswelle und damit zu den Rädern des Kraftfahrzeugs übertragen wird, wird die andere Teilleistung von der einen Elektromaschine im Generatorbetrieb in elektrische Leistung umgewandelt und von der anderen Elektromaschine im Motorbetrieb wieder in das Getriebe eingespeist.

Bei derartigen Antrieben kann auf einen zusätzlichen Starter bzw. Generator verzichtet werden. Die Elektromaschinen starten den Verbrennungsmotor und erzeugen die erforderliche elektrische Leistung für ein Bordnetz des Kraftfahrzeugs, das einen Energiespeicher für die erzeugte elektrische Leistung umfasst. Neben einem hybriden Betrieb, in dem sowohl der Verbrennungsmotor und die Elektromaschinen arbeiten, ist auch ein Boostbetrieb und ein rein elektrischer Fahrbetrieb möglich, bei welchem letzteren elektrische Leistung aus dem Energiespeicher entnommen wird.

Im hybriden Betrieb entsteht durch die Entkopplung der Drehzahlen der beiden Elektromaschinen ein Drehzahl-Freiheitsgrad, was bedeutet, dass bei vorgegebener Fahrzeuggeschwindigkeit und damit vorgegebener Drehzahl an der Getriebeabtriebswelle (und bei vorgegebener Fahrstufe beim SEL- bzw. Dual-E-Getriebe) die Drehzahl von einer der beiden Elektromaschinen innerhalb der physikalischen Grenzen frei gewählt werden kann. Die Drehzahl der zweiten Elektromaschine und die Drehzahl des Verbrennungsmotors ergeben sich dann durch die Koppelbedingungen des nachgeschalteten Getriebes. Dieser Drehzahl-Freiheitsgrad wird dazu benutzt, den An-

triebsstrang im Bereich hoher Gesamtwirkungsgrade zu betreiben. Eine Steuerung des Kraftfahrzeugs berücksichtigt im Wesentlichen dessen Geschwindigkeit bzw. die Ist-Drehzahl der Getriebeabtriebswelle sowie die vom Fahrer angeforderte mechanische Leistung (Fahrpedalstellung) und die zur Versorgung des Bordnetzes erforderliche elektrische Leistung und legt auf der Grundlage dieser Parameter den vorhandenen Drehzahl-Freiheitsgrad sowie die Drehmomente der drei Antriebsaggregate fest.

- 10 Bei den bekannten Verfahren zur Regelung eines solchen Antriebs mit einem Drehzahl-Freiheitsgrad wird eine der Elektromaschinen drehzahlgeregelt betrieben, während der Verbrennungsmotor und die andere Elektromaschine drehmomentgesteuert bzw. die letztere im Falle einer Elektromaschine mit Stromregler oder feldorientierter Regelung drehmomentgeregelt wird. Das heißt, eine Steuerung des Kraftfahrzeugantriebs gibt die Soll-Drehzahl der drehzahlgeregelten Elektromaschine, das Soll-Drehmoment der drehmomentgesteuerten Elektromaschine und das Soll-Drehmoment des drehmomentgesteuerten Verbrennungsmotors vor. Die beiden drehmomentgesteuerten Antriebsaggregate beeinflussen nicht nur das Drehmoment an der Getriebeabtriebswelle sondern auch das Drehmoment, das am drehzahlgeregelten Antriebsaggregat entsteht bzw. dort von einem Drehzahlregler dieses Aggregats eingestellt und als Sollwert für dessen unterlagerte Stromregelung vorgegeben wird. Im Idealfall entspricht dieses Drehmoment einem in der Steuerung vorausberechneten Soll-Drehmoment für die drehzahlgeregelte Elektromaschine.

- 30 Allerdings wirken sich bei dem bekannten Verfahren insbesondere beim Verbrennungsmotor vorhandene Ungenauigkeiten in den Drehmomentsteuerungen sowie Ungenauigkeiten in den Reibver-

hältnissen des Getriebes auf die drehzahlgeregelte Elektromaschine aus, wodurch das vom Drehzahlregler an dieser Elektromaschine eingestellte Drehmoment erheblich von dem in der Steuerung vorausberechneten Soll-Drehmoment abweichen kann.

5

Daraus ergeben sich einige negative Auswirkungen. Zum einen weicht in diesem Fall auch die elektrische Leistung der drehzahlgeregelten Elektromaschine vom Sollwert ab. Die in das Bordnetz eingespeiste elektrische Leistung entspricht dann nicht der Vorgabe der

10

Steuerung, was sich negativ auf das elektrische Bordnetz auswirkt. Daneben können auch die Leistungsgrenzen des elektrischen Energiespeichers verletzt werden, z.B. bei der Energierückgewinnung während eines Bremsvorgangs oder beim Boostbetrieb. Zum anderen kann die drehzahlgeregelte Elektromaschine durch Ungenauig-

15

keiten an ihre maximale Drehmomentgrenze gelangen, was gleichbedeutend mit einer Stellgrößenbegrenzung für den Drehzahlregelkreis ist. Die mit der Drehzahlregelung eingebrachte Bindung wird dabei unwirksam. Ohne weitere Eingriffe an der drehmomentgesteuerten zweiten Elektromaschine bzw. an dem drehmomentgesteuerten Verbrennungsmotor geht die Kontrolle über das System verloren.

20

Im dynamischen Betrieb können die drehmomentgesteuerten Antriebsaggregate basierend auf der Kenntnis der zu kompensierenden Trägheiten vorgesteuert werden. Allerdings ist dabei mit zusätzlichen Ungenauigkeiten zu rechnen, die sich wiederum auf das Drehmoment der drehzahlgeregelten Elektromaschine auswirken.

25

Vorteile der Erfindung

Der erfindungsgemäße elektromechanisch leistungsverzweigende Hybridantrieb und das Verfahren zu seiner Regelung mit den Merkmalen der Ansprüche 1 bzw. 8 weist demgegenüber den Vorteil auf, dass die Aufgabe der Drehzahlregelung auf alle Aggregate, d.h. auf

5 den Verbrennungsmotor, die erste Elektromaschine und die zweite Elektromaschine verteilt wird, um die oben beschriebenen Nachteile zu vermeiden. Mit den erfindungsgemäßen Maßnahmen werden Ungenauigkeiten in den Reibverhältnissen des Getriebes und Ungenauigkeiten in der Drehmomentsteuerung des Verbrennungsmotors be-

10 rücksichtigt und deren Auswirkungen auf die in das Bordnetz eingespeiste elektrische Leistung minimiert.

Daneben besteht eine weitaus geringere Gefahr, infolge von Stellgrößenbegrenzungen die Kontrolle über das System zu verlieren.

15 Weitere Vorteile bestehen in einer aktiven Dämpfung von unerwünschten Drehschwingungen eines Antriebsstrangs des Antriebs. Zudem lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren vorteilhaft mit einer üblichen Steuergerätestruktur ausführen, bei der jedem der drei Antriebsaggregate ein Steuergerät zugeordnet ist, z.B. ein Mo-

20 torsteuergerät für den Verbrennungsmotor und jeweils ein Wechselrichter mit Controller für die beiden Elektromaschinen, und bei der die Steuergeräte über eine Busverbindung miteinander kommunizieren.

25 Da bei modernen Elektromaschinen das vorgegebene Soll-Drehmoment ausreichend genau umgesetzt wird, während beim Verbrennungsmotor zwischen dem Soll-Drehmoment und dem an der Kurbelwelle erzeugten Ist-Drehmoment zumeist größere Abweichungen auftreten, ist in bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung

30 vorgesehen, dass als Drehzahlregler für den Verbrennungsmotor ein

I-, PI- oder PID-Regler verwendet wird, während als Drehzahlregler für die Elektromaschinen P- oder PD-Regler verwendet werden.

- 5 Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung bilden die Drehzahlregler jeweils einen Teil eines dezentralen Drehzahlregelkreises des Verbrennungsmotors bzw. der Elektromaschinen, die in den Steuergeräten der einzelnen Aggregate realisiert sind und nicht über ein Bussystem geschlossen sind, so dass längere Signallaufzeiten vermieden und dadurch hohe Bandbreiten erzielt werden können.
- 10 Für die Vorgabe der Soll-Drehmomente und der Soll-Drehzahlen von der Steuerung an die Steuergeräte wird hingegen vorteilhaft ein Bussystem genutzt, das in modernen Kraftfahrzeugen üblicherweise vorhanden ist.
- 15 Die Reglerparameter der Drehzahlregelkreise bzw. die Initialisierung eines Integral-Anteils des Drehzahlregelkreises des Verbrennungsmotors werden vorzugsweise ebenfalls von der Steuerung vorgegeben, wodurch sich das Regelverhalten und die aktive Drehschwingungsdämpfung an den jeweiligen Betriebszustand des Antriebsstrangs anpassen lassen. Damit lassen sich zum Beispiel Start- und Stopp-Vorgänge des Verbrennungsmotors, bei denen eine von seinem Zweimassenschwungrad geprägte Resonanzfrequenz durchlaufen wird, ohne die Notwendigkeit einer Veränderung der Reglerstruktur getrennt betrachten und optimieren.
- 20
- 25 In den meisten Betriebszuständen des Hybridantriebs arbeitet eine der beiden Elektromaschinen als Motor, während die andere als Generator arbeitet. Durch geeignete, an den Betriebszustand angepasste Vorgaben der Reglerparameter lassen sich die Auswirkungen von

Reglereingriffen auf die in das Bordnetz eingespeiste elektrische Leistung minimieren.

- Bei vorgegebener Fahrzeuggeschwindigkeit und damit festliegender Ist-Drehzahl an der Getriebeabtriebswelle ist ein Drehzahlfreiheitsgrad im Getriebe vorhanden. Wenn eine Gefahr besteht, das System mit drei Drehzahlregelkreisen z.B. infolge von Ungenauigkeiten oder Zeitverzögerungen in den Drehzahlerfassungen zu verspannen, können an einem bzw. an zwei Drehzahlregelkreisen Bandpassfilter (nicht dargestellt) vor oder hinter dem Drehzahlregler vorgesehen werden, die den Reglereingriff auf den Frequenzbereich der unerwünschten Antriebsstrangdrehuschwingungen begrenzen. Bei drohenden Stellgrößenbegrenzungen oder größeren Regelabweichungen sollte die Steuerung die Wirkung der Bandpassfilter zurücknehmen, um alle Aggregate für die Erhaltung der Drehzahlbindung zu nutzen.

Zeichnung

- Die Erfindung wird nachfolgend in einem Ausführungsbeispiel anhand der zugehörigen Zeichnung näher erläutert. Die einzige Figur zeigt eine schematische Darstellung eines Hybridantriebs für ein Kraftfahrzeug mit zugehöriger Regelstrategie.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

- Der in der Zeichnung dargestellte, als sogenanntes Dual-E-Getriebe ausgebildete elektromechanisch leistungsverzweigende Hybridantrieb 2 eines Kraftfahrzeugs besteht im Wesentlichen aus drei Antriebsaggregaten in Form eines Verbrennungsmotors VM und zweier

Elektromaschinen E1 und E2, zwei den Elektromaschinen E1 und E2 nachgeschalteten Planetenstufen P1 und P2, die über ein mehrstufiges mechanisches Dreiwellen-Schaltgetriebe 4 mit einer zu den Rädern des Kraftfahrzeugs führenden Getriebeabtriebswelle AW und
5 über zwei Zahnräder 6 und 8 mit einer Kurbelwelle KW des Verbrennungsmotors VM gekoppelt sind, einer gemeinsamen Steuerung 10 für alle drei Antriebsaggregate VM, E1, E2, sowie getrennten Steuergeräten für den Verbrennungsmotor VM und die beiden Elektromaschinen E1, E2 in Form einer Motorsteuerung 12 bzw. zweier Wechselrichter 14 und 16.

Die Kurbelwelle KW des Verbrennungsmotors VM ist über ein Zweimassenschwungrad 18 mit den beiden Zahnrädern 6 und 8 verbunden. Ein Freilauf 20 stützt die Drehmomente der Elektromaschinen
15 E1 und E2 beim elektrischen Fahren, d.h. bei abgeschaltetem Verbrennungsmotor VM ab und verhindert eine Rückwärtsdrehung des Verbrennungsmotors VM. In der Nähe der Kurbelwelle KW ist ein Drehzahlsensor 22 angeordnet, der die Ist-Drehzahl n_{VM} der Kurbelwelle KW misst und als Eingangsgröße in das Motorsteuergerät 12 zuführt.

Die Antriebswellen A1 und A2 der beiden Elektromaschinen E1 und E2 sind jeweils mit einer Bremse B1 bzw. B2 zur mechanischen Abbremsung der Antriebswelle A1 bzw. A2 versehen. In der Nähe der
25 Antriebswellen A1 und A2 ist jeweils ein Drehzahlsensor 24 bzw. 26 angeordnet, der die Ist-Drehzahl n_{E1} und n_{E2} der Antriebswellen A1 bzw. A2 misst und als Eingangsgröße zum entsprechenden Wechselrichter 14 bzw. 16 zuführt.

- Ein weiterer, in der Nähe der Getriebeabtriebswelle AW angeordneter Drehzahlsensor 28 ermittelt deren Ist-Drehzahl n_{AW} ist und leitet sie an die nicht näher beschriebene Steuerung 10 weiter, die als weitere Eingangsgrößen neben der Ist-Drehzahl n_{AW} ist der Getriebe-
- 5 abtriebswelle AW oder alternativ der Drehzahl der Räder bei 30 die Stellung des Fahrpedals als Anzeige für die angeforderte Antriebsleistung und bei 32 die von einem Bordnetz des Kraftfahrzeugs angeforderte elektrische Leistung erhält.
- 10 Aus diesen Eingangsgrößen berechnet die Steuerung 10 basierend auf den Koppelbedingungen des Getriebes 4 die Solldrehzahlen n_{VM} soll, n_{E1} soll, n_{E2} soll und die Solldrehmomente M_{VM} soll, M_{E1} soll, M_{E2} soll des Verbrennungsmotors VM sowie der Elektromaschinen E1 und E2. Die Solldrehmomente M_{VM} soll, M_{E1} soll, M_{E2} soll können
- 15 Anteile zur Kompensation der Trägheiten bei dynamischem Betrieb enthalten. Wie nachfolgend beschrieben, werden die Solldrehmomente M_{VM} soll, M_{E1} soll, M_{E2} soll von drei unterlagerten dezentralen Drehzahlregelkreisen im Motorsteuergerät 12 und in den beiden Wechselrichtern 14, 16 als Vorsteuerung benutzt und liegen im
- 20 Sinne einer kaskadierten Stellgrößenbeschränkung innerhalb der Grenzen des maximalen Drehmoments des jeweiligen Aggregates VM, E1, E2, um für Drehzahlregler 34, 36, 38 der Drehzahlregelkreise Stellreserven bereitzustellen.
- 25 Für die Vorgabe der Soll-Drehmomente und der Soll-Drehzahlen von der Steuerung 10 an das Motorsteuergerät 12 und die beiden Wechselrichter 14, 16 wird ein im Kraftfahrzeug vorhandenes Bussystem 40 genutzt. Demgegenüber sind die Drehzahlregler 34, 36, 38 selbst

nicht über ein Bussystem geschlossen, so dass längere Signallaufzeiten vermieden und hohe Bandbreiten erzielt werden können.

Die Drehzahlregler 34, 36 bzw. 38 im Motorsteuergerät 12 und in den
5 beiden Wechselrichtern 14, 16 umfassen jeweils ein Vergleichsglied
42, das als Eingangsgröße vom zugehörigen Drehzahlsensor 22, 24
bzw. 26 die jeweilige Ist-Drehzahl n_{VM} ist, n_{E1} ist, n_{E2} ist der Kur-
belwelle KW bzw. von einer der Antriebswellen A1, A2 und von der
Steuerung 10 die jeweilige Soll-Drehzahl n_{VM} soll, n_{E1} soll bzw. n_{E2}
10 soll erhält, das Soll- und Ist-Wertepaar vergleicht und eine eventuelle
Regelabweichung e_{E1} , e_{E2} bzw. e_{VM} ermittelt.

Neben dem Vergleichsglied 42 umfassen die Drehzahlregler 34, 36,
38 ein Übertragungsglied 44, das die gegebenenfalls auftretenden
15 Regelabweichungen e_{VM} , e_{E1} bzw. e_{E2} vom Vergleichsglied 42
erhält, auf der Basis dieser Regelabweichungen ein zusätzliches
Drehmoment M_{VM} zus, M_{E1} zus bzw. M_{E2} zus berechnet und als
Ausgangssignal einem von der Steuerung 10 mit dem entsprechen-
den Soll-Drehmoment M_{E1} soll, M_{E2} soll bzw. M_{VM} soll beauf-
schlagten Stellglied 46 zuführt. Nach einer Addition der beiden Sig-
20 nale im Stellglied 46 wird von diesem das Summendrehmoment
 M_{E1} , M_{E2} , M_{VM} an der jeweiligen Elektromaschine E1, E2 bzw. am
Verbrennungsmotor VM eingestellt. Während beim Auftreten einer
Regelabweichung e_{VM} , e_{E1} bzw. e_{E2} an einem der Aggregate VM,
25 E1 bzw. E2 ein auf der Basis dieser Regelabweichung e_{VM} , e_{E1}
bzw. e_{E2} berechnetes zusätzliches Drehmoment M_{VM} zus, M_{E1} zus
bzw. M_{E2} zus in der Regel bei der Drehmomentsteuerung desjeni-
gen Aggregats VM, E1 bzw. E2 berücksichtigt werden wird, an dem

- zuvor die Regelabweichung e_{VM} , e_{E1} bzw. e_{E2} aufgetreten war, ist es jedoch auch möglich, in einer Art "Zustandsregelung" auf der Basis der Regelabweichung e_{VM} , e_{E1} bzw. e_{E2} eines Aggregats VM, E1 bzw. E2 auch für die jeweils anderen Aggregate E1, E2 bzw. VM zusätzliche Drehmomente $M_{E1 \text{ zus}}$, $M_{E2 \text{ zus}}$ bzw. $M_{VM \text{ zus}}$ zu berechnen, die dann neben den von der Steuerung 10 berechneten Soll-Drehmomenten $M_{E1 \text{ soll}}$, $M_{E2 \text{ soll}}$ bzw. $M_{VM \text{ soll}}$ bei der Drehmomentsteuerung dieser Aggregate E1, E2 bzw. VM berücksichtigt werden.
- 10 Die Drehzahlregler 36, 38 der Elektromaschinen E1 und E2 sind als P-Regler oder PD-Regler ausgeführt, während der Drehzahlregler 34 des Verbrennungsmotors VM als I-, PI- oder PID-Regler ausgeführt ist. Durch diese letztere Maßnahme wird der Drehzahlregelkreis des
- 15 Verbrennungsmotors VM mit einem Integral-Anteil versehen, der Ungenauigkeiten in der Drehmomentsteuerung des Verbrennungsmotors VM ausgleicht, so dass sich im stationären Betrieb die Ist-Drehzahl n_{VM} des Verbrennungsmotors VM asymptotisch an die Solldrehzahl $n_{VM \text{ soll}}$ annähern wird. Damit gehen auch die Regelabweichungen e_{E1} und e_{E2} an den Elektromaschinen E1 und E2
- 20 gegen Null. Die Elektromaschinen E1 und E2 stellen dann näherungsweise die Soll-Drehmomente ein ($M_{E1} = M_{E1 \text{ soll}}$, $M_{E2} = M_{E2 \text{ soll}}$). Mit den von der Steuerung 10 vorgegebenen Soll-Drehmomenten $M_{E1 \text{ soll}}$ und $M_{E2 \text{ soll}}$ wird dann selbst im Fall von
- 25 Ungenauigkeiten in den Reibverhältnissen des Getriebes 4 auch die Vorgabe für die in das Bordnetz eingespeiste elektrische Leistung eingehalten.

Da alle drei Aggregate VM, E1 und E2 drehzahl geregelt betrieben werden, können zwei davon in die Stellgrößenbegrenzung geraten, ohne dass die Kontrolle über das System verloren geht. Sollten zum Beispiel beide Elektromaschinen E1 und E2 infolge einer Über- oder

5 Unterspannungsabregelung in die Stellgrößenbegrenzung geraten, so hält der Verbrennungsmotor VM weiterhin die Drehzahlbindung aufrecht.

Die P-Anteile der Drehzahlregler 34, 36, 38 entsprechen in ihrer Wirkung drehzahlproportionalen mechanischen Dämpfern und wirken damit Drehschwingungen der Aggregate VM, E1 und E2 entgegen, die zum Beispiel infolge von Torsionsschwingungen des Zweimas-

10 senschwungrades 18 entstehen können. Mit den drei unterlagerten Drehzahlregelkreisen tragen alle drei Aggregate VM, E1 und E2 zur

15 aktiven Drehschwingungsdämpfung bei. Während in das Drehmoment M_{VM} des Verbrennungsmotors VM nur zu den diskreten Zündzeitpunkten eingegriffen werden kann, was die Drehschwingungsdämpfung mittels des Verbrennungsmotors VM auf niedrige Frequenzen beschränkt, lassen sich bei Elektromaschinen in Form von

20 Drehstrommaschinen mit feldorientierter Regelung Drehmomentregelzeiten $< 1 \text{ ms}$ erzielen, so dass in Verbindung mit geeigneten Drehzahlsensoren die Dämpfung höherer Frequenzen möglich ist.

R. 305772

Patentansprüche

5

1. Elektromechanisch leistungsverzweigender Hybridantrieb für ein Kraftfahrzeug, mit einem Verbrennungsmotor und zwei Elektromaschinen, die durch ein Getriebe gekoppelt sind, **gekennzeichnet durch** eine Steuerung (10), die basierend auf Koppelbedingungen des Getriebes (P1, P2, 4) für den Verbrennungsmotor (VM) und beide Elektromaschinen (E1, E2) jeweils Soll-Drehzahlen ($n_{VM\text{ soll}}$, $n_{E1\text{ soll}}$, $n_{E2\text{ soll}}$) und Soll-Drehmomente ($M_{VM\text{ soll}}$, $M_{E1\text{ soll}}$, $M_{E2\text{ soll}}$) berechnet, sowie durch einen Drehzahlregler (34, 36, 38) für den Verbrennungsmotor (VM) und die beiden Elektromaschinen (E1, E2), welche die berechneten Soll-Drehzahlen ($n_{VM\text{ soll}}$, $n_{E1\text{ soll}}$, $n_{E2\text{ soll}}$) mit den zugehörigen Ist-Drehzahlen ($n_{VM\text{ ist}}$, $n_{E1\text{ ist}}$, $n_{E2\text{ ist}}$) vergleichen und bei einer Regelabweichung (e_{VM} , e_{E1} , e_{E2}) zwischen einer der Ist-Drehzahlen ($n_{VM\text{ ist}}$, $n_{E1\text{ ist}}$, $n_{E2\text{ ist}}$) und der zugehörigen Soll-Drehzahl ($n_{VM\text{ soll}}$, $n_{E1\text{ soll}}$, $n_{E2\text{ soll}}$) auf der Grundlage der Regelabweichung (e_{VM} , e_{E1} , e_{E2}) ein oder mehr zusätzliche Drehmomente ($M_{VM\text{ zus}}$, $M_{E1\text{ zus}}$, $M_{E2\text{ zus}}$) berechnen, die neben dem oder den von der Steuerung (10) berechneten Soll-Drehmomenten ($M_{VM\text{ soll}}$, $M_{E1\text{ soll}}$, $M_{E2\text{ soll}}$) bei der Drehmomentsteuerung des Verbrennungsmotors (VM) und der beiden Elektromaschinen (E1, E2) berücksichtigt werden.

2. Hybridantrieb nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Drehzahlregler (34) des Verbrennungsmotors (VM) ein I-, PI- oder PID-Regler ist, und dass die Drehzahlregler (36, 38) der Elektromaschinen (E1, E2) P- oder PD-Regler sind.

5

3. Hybridantrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass die Drehzahlregler (34, 36, 38) jeweils Teil eines dezentralen Drehzahlregelkreises des Verbrennungsmotors (VM) bzw. der Elektromaschinen (E1, E2) sind.

10

4. Hybridantrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Drehzahlregler (34, 36, 38) untereinander nicht kommunizieren.

15

5. Hybridantrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Drehzahlregler (34, 36, 38) über ein Bussystem (40) mit der Steuerung (10) kommunizieren.

20

6. Hybridantrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerung (10) Reglerparameter der Drehzahlregelkreise und/oder eine Initialisierung eines Integral-Anteils des Drehzahlregelkreises des Verbrennungsmotors (VM) vorgibt.

25

7. Hybridantrieb nach einem der vorangehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** einen Bandpassfilter, der vor oder hinter mindestens einem der Drehzahlregler (34, 36, 38) angeordnet ist.

30

8. Verfahren zur Regelung eines elektromechanisch leistungsverzweigenden Hybridantriebs eines Kraftfahrzeugs mit einem

- Verbrennungsmotor und zwei Elektromaschinen, die durch ein Getriebe gekoppelt sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass basierend auf Koppelbedingungen des Getriebes (P1, P2, 4) für den Verbrennungsmotor (VM) und die beiden Elektromaschinen (E1, E2) jeweils
- 5 Soll-Drehzahlen ($n_{VM\text{ soll}}$, $n_{E1\text{ soll}}$, $n_{E2\text{ soll}}$) und Soll-Drehmomente ($M_{VM\text{ soll}}$, $M_{E1\text{ soll}}$, $M_{E2\text{ soll}}$) berechnet werden, dass die jeweiligen Soll-Drehzahlen ($n_{VM\text{ soll}}$, $n_{E1\text{ soll}}$, $n_{E2\text{ soll}}$) mit entsprechenden Ist-Drehzahlen ($n_{VM\text{ ist}}$, $n_{E1\text{ ist}}$, $n_{E2\text{ ist}}$) des Verbrennungsmotors (VM) und der Elektromaschinen (E1, E2) verglichen werden, und
- 10 dass bei einer Regelabweichung (e_{VM} , e_{E1} , e_{E2}) zwischen einer der Ist-Drehzahlen ($n_{VM\text{ ist}}$, $n_{E1\text{ ist}}$, $n_{E2\text{ ist}}$) und der entsprechenden Soll-Drehzahl ($n_{VM\text{ soll}}$, $n_{E1\text{ soll}}$, $n_{E2\text{ soll}}$) auf der Grundlage der Regelabweichung (e_{VM} , e_{E1} , e_{E2}) ein oder mehr zusätzliche Drehmomente ($M_{VM\text{ zus}}$, $M_{E1\text{ zus}}$, $M_{E2\text{ zus}}$) berechnet werden, die
- 15 neben dem oder den von der Steuerung (10) berechneten Soll-Drehmomenten ($M_{VM\text{ soll}}$, $M_{E1\text{ soll}}$, $M_{E2\text{ soll}}$) bei der Drehmomentsteuerung des Verbrennungsmotors (VM) und der beiden Elektromaschinen (E1, E2) berücksichtigt werden.
- 20 9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Soll-Drehzahlen ($n_{VM\text{ soll}}$, $n_{E1\text{ soll}}$, $n_{E2\text{ soll}}$) auf der Grundlage einer Fahrpedalstellung, einer für ein Bordnetz des Kraftfahrzeugs erforderlichen elektrischen Leistung und Ist-Drehzahlen von Rädern des Kraftfahrzeugs oder einer Ist-Drehzahl ($n_{AW\text{ ist}}$) einer Abtriebs-
- 25 welle (AW) des Getriebes (P1, P2, 4) berechnet werden.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Soll-Drehmomente ($M_{VM\text{ soll}}$, $M_{E1\text{ soll}}$, $M_{E2\text{ soll}}$) An-

teile zur Kompensation von Trägheiten bei dynamischem Betrieb
enthalten.

5

10

15

20

25

30

R. 305772

Zusammenfassung

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines elektromechanisch leistungsverzweigenden Hybridantriebs (2) eines Kraftfahrzeugs mit einem Verbrennungsmotor (VM) und zwei Elektromaschinen (E1, E2), die durch ein Getriebe (P1, P2, 4) gekoppelt sind, sowie einen elektromechanisch leistungsverzweigenden Hybridantrieb (2) für ein Kraftfahrzeug. Es wird vorgeschlagen, dass basierend auf Koppelbedingungen des Getriebes (P1, P2, 4) für den Verbrennungsmotor (VM) und die beiden Elektromaschinen (E1, E2) jeweils Soll-Drehzahlen ($n_{VM\text{ soll}}$, $n_{E1\text{ soll}}$, $n_{E2\text{ soll}}$) und Soll-Drehmomente ($M_{VM\text{ soll}}$, $M_{E1\text{ soll}}$, $M_{E2\text{ soll}}$) berechnet werden, dass die jeweiligen Soll-Drehzahlen ($n_{VM\text{ soll}}$, $n_{E1\text{ soll}}$, $n_{E2\text{ soll}}$) mit entsprechenden Ist-Drehzahlen ($n_{VM\text{ ist}}$, $n_{E1\text{ ist}}$, $n_{E2\text{ ist}}$) des Verbrennungsmotors (VM) und der Elektromaschinen (E1, E2) verglichen werden, und dass bei einer Regelabweichung (e_{VM} , e_{E1} , e_{E2}) zwischen einer der Ist-Drehzahlen ($n_{VM\text{ ist}}$, $n_{E1\text{ ist}}$, $n_{E2\text{ ist}}$) und der entsprechenden Soll-Drehzahl ($n_{VM\text{ soll}}$, $n_{E1\text{ soll}}$, $n_{E2\text{ soll}}$) auf der Grundlage der Regelabweichung (e_{VM} , e_{E1} , e_{E2}) ein oder mehr zusätzliche Drehmomente ($M_{VM\text{ zus}}$, $M_{E1\text{ zus}}$, $M_{E2\text{ zus}}$) berechnet werden, die neben dem oder den von der Steuerung (10) berechneten Soll-Drehmomenten ($M_{VM\text{ soll}}$, $M_{E1\text{ soll}}$, $M_{E2\text{ soll}}$) bei der Drehmomentsteuerung des Verbrennungsmotors (VM) und der beiden Elektromaschinen (E1, E2) berücksichtigt werden.

